

금강유역의 습윤/건조 상태에 대한 경향성 분석

Trend Analysis of Wetness/Dryness in Geum River Basin.

김주철*, 이상진**, 황만하***, 안정민****

Joo Cheol Kim, Sang Jin Lee, Man Ha Hwang, Jung Min Ahn

Abstract

In this study the wetness/dryness in Geum river basin are classified by dint of cumulative probability density function of monthly moisture index and the long term changes of them are analyzed based on climatic water balance concept. The drought events in Geum river basin are selected through evaluation of monthly moisture index and the various hydrological properties of them are investigated in detail. Also the trends of time-series of climatic water balance components are examined by Seasonal Kendall test and the variability of hydrological cycle in Geum river basin during the recent decade is inquired. It is judged that the results of this study can be contributed to establishment of the counter plan against the future drought events as the fundamental information.

Key words: Climatic water balance, Drought event, Moisture index, Seasonal Kendall test

1. 서론

최근 지구온난화(global warming) 및 기후변화(climate change)에 따른 수자원변동이 주요한 이슈로서 등장하고 있다. 이들은 주로 평균기온의 상승이나 강우패턴의 변동 등에 주목하여 다루어지고 있는 바, IPCC(기후변화에 관한 정부간협의체)는 4차 기후변화에 관한 평가보고서에서 지난 세기 동안 전 지구 평균 기온은 약 0.74℃ 상승하였으며 최근 12년(1995~2006) 중 11년이 1900년 이후 지구 평균기온이 가장 높은 해로 관측되었다고 보고하고 있다. 이러한 경향을 수문학적 관점에서 본다면 물 순환과정 내 각 성분별 거동특성의 변화로 해석할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기후학적 물수지 방법(신사철 등, 2008)을 금강유역에 적용하여 이를 기반으로 가뭄사상(시점과 종점 그리고 지속기간)을 선별하고 주요한 기후학적 물수지 성분 시계열에 대한 경향성(trend) 분석을 수행하여 대상유역에서 전개되고 있는 물 순환과정의 변동성을 파악하여 최근 빈번하게 발생하고 있는 가뭄사상들에 대한 원인을 유추해 보고자 한다. 경향성 시험법으로는 Seasonal Kendall 시험법을 적용하였으며 실제 분석에는 USGS에서 제공하는 Kendall.exe code(Helsel et al., 2006)를 적용한다. 본 연구의 대상기간은 1998년부터 2007년까지 10년간으로 전술한 IPCC의 4차 기후변화에 관한 평가보고서에서 언급한 기간과 대부분 일치하는 바 이러한 분석은 향후 유역의 가뭄발생의 예견이나 가뭄발생에 따른 대처방안을 수립하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이며 이에 따른 유역의 습윤/건조 상태의 변동성 파악은 의미 있는 수단을 제공할

* 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : kjoocheol@hanmail.net
** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : silee@kwater.or.kr
*** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : hwangmh@kwater.or.kr
**** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : ahnjm80@naver.com

수 있을 것으로 판단된다.

2. 방법론

본 연구에서는 기후학적 물수지(신사철 등, 2008)로부터 산정되는 월별 습윤지표의 누가확률밀도함수(cumulative density function, CDF) $P(x)$ 를 이용하여 유역의 습윤/건조 상태를 분류하여 보았다. 특히 월별 습윤지표의 크기에 따른 순위(rank)를 자료의 개수로 나누어 누가확률을 직접 추정할 수 있도록 하였다. 이에 따른 실제 습윤/건조 상태의 분류 과정은 다음과 같다. 우선 기왕 최대치와 최소치에 따라 극한습윤(EW, Extreme Wet)과 극한건조(ED, Extreme Dry) 조건을 정의하고 양자 사이의 구간을 누가확률 $P(x)$ 에 따라 습윤($0.666 < P(x)$, Wet), 정상($0.333 < P(x) < 0.666$, Normal), 건조($P(x) < 0.333$, Dry)로 3등분 하였다. 다음으로 각 구간을 누가확률의 등간격에 따라 다시 3등분 하여 총 9개의 습윤/건조 상태를 설정하였다. 또한 본 연구에서는 기후학적 물수지와 관련된 각종 시계열 자료들(예를 들면 습윤지표)에 대한 경향성 분석을 위하여 Mann-Kendall 시험법의 발전한 형태 중의 하나인 Seasonal Kendall 시험법(Hirsch et al., 1982)을 선정하였다.

3. 적용사례

전술한 기법을 본 연구에서는 금강유역을 대상유역으로 적용하였다. 주요한 입력 자료로서 강우자료의 경우 선행연구 과정에서 구축된 장기유출모형인 RRFS(Rainfall Runoff Forecasting System)의 자료를 이용하였고 위성영상자료로는 NOAA/AVHRR 자료를 이용하였다. 습윤지표의 산정에 과잉수분량 및 부족수분량 등의 계산은 1100×1100 m의 격자를 기반으로 하였으며 적용기간은 1998년 3월부터 2007년 12월까지 총 118개월을 대상으로 하였다. Fig. 1은 상기한 과정을 통하여 선정된 총 11개의 가뭄사상을 해당 기간의 SMI지수와 중첩하여 도시한 그림으로 가뭄사상별 주요한 특성은 선행연구 성과로부터 확인할 수 있다(김주철과 황만하, 2009).

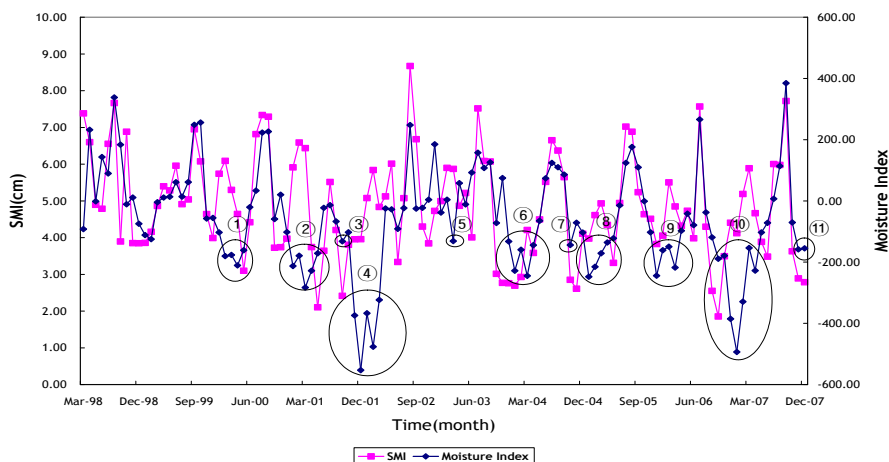


Fig. 1 Monthly moisture index & SMI time series of Geum river basin.

본 연구에서 산정된 기후학적 물수지 성분(Fig. 1) 시계열들에 대한 경향성 시험결과는 Table 1과 같다. Table 1의 2열은 Seasonal Kendall 통계량이고 4, 5열은 각각 유의수준 및 경향선을 나

타낸다. 여기서 우선 주목되는 사항은 1, 2행의 강우량과 증발산량에 대한 결과로서 대상기간에 대하여 양자 모두 유의한 경향성을 나타내지 않고 있음을 볼 수 있다. Fig. 2의 a, b는 이들을 각각 경향선과 중첩하여 도시한 것으로 상기한 결과를 시각적으로 확인할 수 있다. 본 연구의 대상기간은 대부분 IPCC에서 보고한 1900년 이후 지구 평균기온이 가장 높은 해들에 해당한다. 따라서 이는 해당기간에 대한 대기시스템의 변화 가능성을 암시하는 것으로 볼 수 있지만 Table 1 및 Fig. 2의 a, b에서 이러한 경향성을 감지할 수 없는 것으로 나타나는 바 이는 주로 본 연구의 대상기간이 갖는 시간적 규모(temporal scale)에 기인하는 것으로 판단된다. 즉 강우량과 증발산량의 경우 기온의 상승에 따른 경향성의 발현은 보다 큰 규모의 시간 축(예를 들면 50년이나 100년) 상에서 발생할 수 있을 것으로 유추된다.

강우량 및 증발산량과는 달리 과잉수분, 부족수분 및 습윤지표에서는 대상기간에 대하여 유의한 경향성이 나타나고 있음을 Table 1의 4~6행 및 Fig 2의 c~e로부터 확인할 수 있다. 특히 습윤지표에 대한 결과(Table 1의 6행 및 Fig. 2의 e)로부터 대상기간 동안 금강유역에서는 상당한 규모의 건조 현상이 진행되어 왔음을 예상할 수 있다. 이는 선행연구(김주철과 황만하, 2009)의 가뭄사상에 대한 분석결과와 일치하는 사항으로 대상기간 동안의 잦은 가뭄사상의 발생이 주요한 원인인 것으로 판단된다. 특히 전술한 바와 같이 해당기간에 대하여 강우량과 증발산량은 유의한 변동성을 나타내지 않는바 이러한 현상의 주된 원인은 토양수분량의 감소에 기인하는 것으로 판단된다. 현재 우리나라의 강우패턴 변동에 관한 다양한 연구사례에서 연 총량은 다소 증가추세를 보이는 반면 발생일수의 감소추세로 인하여 시간적 편재현상이 심화되어 가고 있는 것으로 제시되고 있다. 이는 단기 집중호우로 인한 풍수해의 잦은 발생을 시사하는 한편 이전보다 길어진 갈수기의 출현을 암시한다. 이러한 현상을 기후학적 물수지 개념에 따라 유추해 보면 기온의 상승에 따라 잠재증발산량(기후학적 수요량)이 증가하게 되는데 강우 패턴의 변동에 따른 과잉수분량의 감소로 인하여 토양수분량이 증발산을 통하여 고갈되어 가는 것으로 판단된다. 이는 전반적인 물순환 체계의 변동을 의미하는 것으로 이전과는 다른 계절적 특성의 출현과 함께 가용수자원의 편재현상을 지적하고 있다. 따라서 보다 효율적인 수자원관리를 위해서는 상기한 유역 상태변수들에 대한 지속적인 모니터링과 함께 거동특성의 변동에 대한 분석이 필요한 것으로 판단된다.

Table 1 Results of trend test on climatic water balance components

	<i>S</i>	<i>P</i>	Sig. Level(%)	Trend Line
Rainfall	-1.030	0.3031	69.69	$y = 61.37 - 0.8121t$
Evapotranspiration	0.026	0.9789	2.11	$y = 71.24 + 0.0000t$
Surplus Water	-1.984	0.0473	95.27	$y = 2.272 - 0.07931t$
Deficit Water	3.940	0.0001	99.99	$y = 17.09 + 3.854t$
Moisture Index	-3.407	0.0007	99.93	$y = 21.09 - 14.07t$

※ $t = decimal\ year - 1997.75$

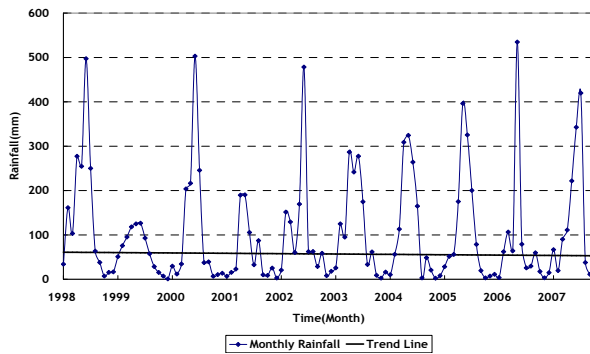
Table 1의 결과로부터 추론된 토양수분량의 감소경향에 대한 검증을 위하여 Fig. 1의 SMI 시계열에 대하여 Table 2 및 Fig. 2의 f와 같이 경향성 시험을 수행하여 보았다. 흥미로운 사항은 기후학적 물수지 개념과는 별개로 산정된 SMI 역시 유의한 감소 경향성을 나타내는 점으로서 본 연구의 대상기간 동안 상당한 양의 토양수분이 증발산을 통하여 손실되었음을 확인할 수 있다. 이로부터 금강유역의 건조현상을 지배하는 주요한 인자로서 토양수분의 거동을 간과할 수 없을 것

으로 판단된다.

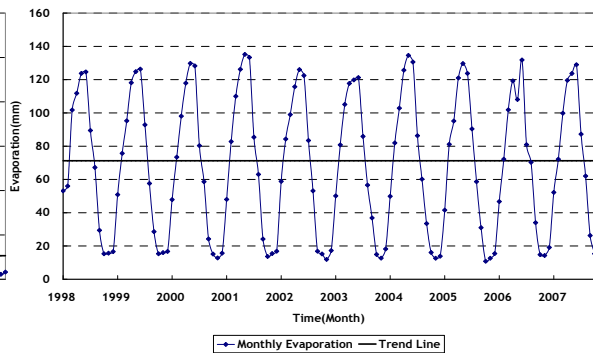
Table 2 Results of trend test on SMI

	S	P	Sig. Level(%)	Trend line
SMI	-2.720	0.0065	99.35	$y = 5.338 - 0.1106t$

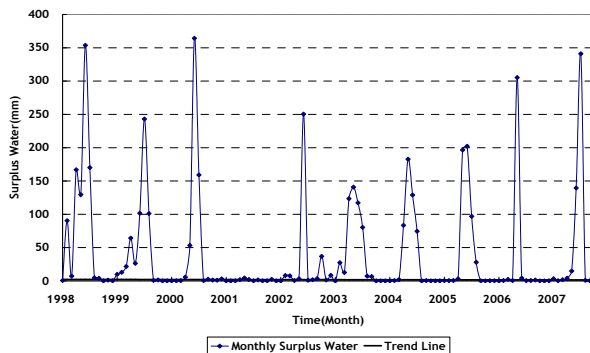
※ $t = decimal\ year - 1997.75$



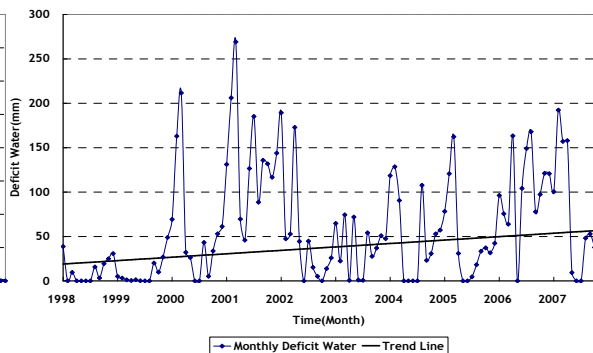
a. Monthly rainfall time series



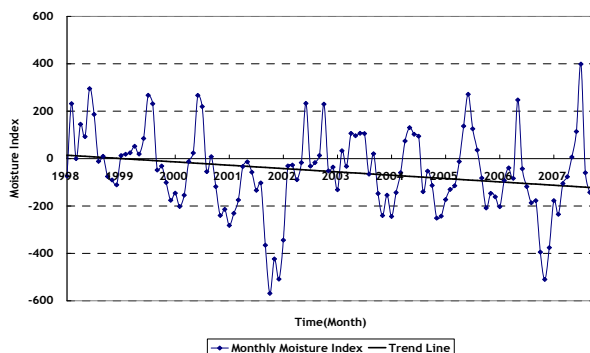
b. Monthly evaporation time series



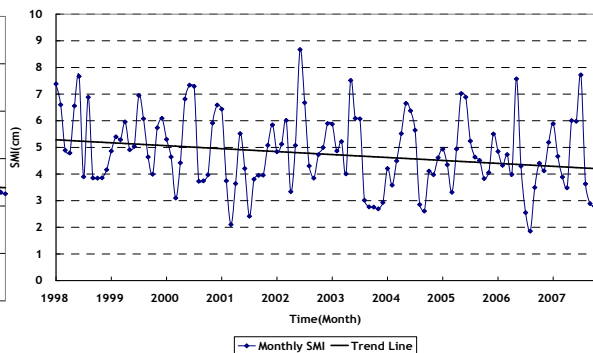
c. Monthly surplus water time series



d. Monthly deficit water time series



e. Monthly moisture index time series



f. Monthly SMI time series

Fig. 2 Trend analysis results by Seasonal Kendall test.

4. 결론

본 연구에서는 금강유역에 대한 습윤·건조 상황의 시계열을 기반으로 주요 가뭄사상을 선별하여 기후학적 물수지 성분 시계열에 대한 경향성 분석(Seasonal Kendall 시험법)을 수행하였다. 특히 최근 10년간 대상유역에서 전개되고 있는 물 순환과정의 변동성을 파악하였다. 과잉수분, 부족수분 및 습윤지표에 대한 경향성 분석결과 전체기간에 대하여 유의한 경향성이 뚜렷함을 확인하였으며, 특히 습윤지표에 대한 결과로부터 대상기간 동안 금강유역에서는 상당한 규모의 건조 현상이 진행되어 왔음을 예상할 수 있다. 이는 선행연구를 통한 가뭄사상에 대한 분석결과와 일치하는 것으로 대상기간 동안의 잦은 가뭄사상의 발생이 주요한 원인인 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김주철, 황만하(2009), “금강유역의 가뭄사상과 사회적 현상”, 한국수자원학회지, 42(2), pp. 55-66.
2. 신사철, 황만하, 고익환(2008). 기후학적 물수지에 의한 유역의 건조 및 습윤 상황 감시 기법 개발. 한국수자원학회논문집, 41(2), pp. 173-184.
3. Helsel, D. R., Mueller, D. K. and Slack, J. R. (2006). Computer program for the Kendall family of trend tests. U.S. Geological Survey Investigations Report, 2005-5275.
4. Hirsch, R. M., Slack, J. R. and Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18(1), pp. 107-121.